

最先端研究開発支援プログラム（FIRST）平成22年度フォローアップに係るヒアリング
（複雑系数理モデル学の基礎理論構築とその分野横断的科学技术応用）

1. 日時 平成23年9月27日（火）17:00～17:40

2. 場所 中央合同庁舎4号館12階 共用1211会議室

3. 出席者

相澤 益男 総合科学技術会議議員

本庶 佑 総合科学技術会議議員

奥村 直樹 総合科学技術会議議員

青木 玲子 総合科学技術会議議員

今榮東洋子 総合科学技術会議議員

川本 憲一 政策統括官（科学技術政策・イノベーション担当）付参事官（最先端研究
開発支援プログラム担当）

4. 説明者

合原 一幸 東京大学生産技術研究所教授（中心研究者）

臼井 勲 科学技術振興機構イノベーション推進本部（研究支援統括者）

堀尾 喜彦 東京電機大学工学部教授

5. 議事

【川本参事官】

お待たせしました。それでは、これより研究課題「複雑系数理モデル学の基礎理論構築とその分野横断的科学技术応用」の平成22年度フォローアップに係るヒアリングを始めさせていただきます。

本日の総合科学技術会議側の出席者についてはお手元の座席表のとおりです。

このヒアリングにつきましては非公開で行います。関係者がフォローアップを通じて知り得た情報については、フォローアップの目的のみに使用させていただきます。ただし、後日、今

後の研究発表あるいは知的財産権等に支障が生じないことを確認させていただいた上で、議事については概要を公表させていただきます。

時間配分につきましては、あらかじめご連絡しておりますが、研究課題側からのご説明を10分、その後、質疑応答20分で、合計30分、時間厳守でよろしく申し上げます。説明に当たりましては、終了3分前に予鈴、終了時間に本鈴を鳴らさせていただきます。時間が来ましたら質疑応答を優先するというので、説明が途中であってもそこで中断をお願いしたいと思います。質疑応答につきましては、終了3分前に予鈴を鳴らさせていただきます。

それでは、説明をよろしくお願いいたします。

【説明者】

私、このプロジェクトの研究支援担当機関、科学技術振興機構（JST）の臼井でございます。よろしくお願いいたします。本日、中心研究者の東大の合原教授、それからサブテーマリーダーの東京電機大の堀尾教授、それ以外のメンバーも参っております。

早速でございますが、私のほうから研究推進体制と研究支援体制についてお話しいたします。

この研究課題では、東大の生研の中に最先端数理モデル連携研究センターを昨年3月に設立しておりまして、そこで合原先生が中心になって研究を進めております。サブテーマは3つに分かれておりまして、そこにいろいろな機関のメンバーが参加しているという形になっております。

サブテーマ会議など様々な議論の場を持ってやっておりますが、この研究課題での一つの特徴として、研究員が徹底的に議論し合う場となる合宿会議的なものを年に1～2回やる、こういう形で研究を進めております。それから、国際アドバイザリーボードがありまして、いろいろな助言もちょうだいしています。

研究支援担当機関のJSTとしましては、合原先生のお近くにJSTの支援室を設けてございまして、技術系・事務系のスタッフを常駐させております。このメンバーが東大の支援室のメンバーと連携をとりながら全体のお世話をしていく、こんなような形で支援をしているところでございます。それから、知的財産権につきましては、私たちJSTでは参加の共同事業機関との間で実施契約や協定書を設けてございます。その中でここに書いておりますようなポイントが定められておりまして、基本的に日本版バイ・ドール法を適用したような考え方で物事を進めています。ライセンスに当たりましては、事前に他の共有者の同意を得る、このような

形で進めております。

この後、具体的な内容について合原教授のほうからご説明させていただきます。

【説明者】

今日は貴重な時間をいただき、どうもありがとうございます。研究の進捗状況についてご説明します。

この研究課題では複雑系を対象にして、基礎理論及び応用研究を同時に展開しています。特徴としては、数学、数理をベースとして、複雑系数理モデル学の基礎理論研究及びその分野横断的応用研究を同時に展開することによって、複雑システム科学技術の数理的な基盤を構築することです。この目的を成し遂げるために、基礎数理及び応用理論に関する、主として大学の研究者からなる研究者ネットワークを構築しました。当初は多くのポスドクを雇用する予定でしたが、金額の査定をいただいたときに、むしろ大学の教員を中心にして研究体制をつくるようにというご指摘をいただきましたので、そのご指摘に従ってこういう体制をつくりました。理論と応用の数理的研究をインタラクティブに行っています。

60名ぐらいの大学教員が参加しておりまして、このような大規模な研究というのは最先端研究開発支援プログラムの規模であって、かつ数理的な研究に重点を置いたことによって初めて可能になりました。大変感謝しております。目標としては基礎から応用、科学から工学技術を広くカバーする複雑システム科学技術の数理的な基盤を構築することです。基礎理論としては、最先端制御理論、複雑ネットワーク理論、それから時系列解析理論を開発して、それらを統合します。それから、応用研究としては様々な複雑系、例えば生命、工学、自然、経済などの複雑システムの重要な課題の数理的な研究、さらには将来の実用を目的として、その基盤となるハードウェアの実装研究も同時に行っています。

理論面でまず力を入れているのは、数学における力学系理論と工学における制御理論の融合です。この2つの理論は、どちらもダイナミクスを扱っていますが、各々ほとんど相互作用がなく、かつ高度に発展してきています。ところが、その特徴を見ると、力学系理論は非線形で不安定な自律系を主に考察しています。一方、制御理論は線形で安定な非自律系を主に考察します。つまり、この2つの理論は相補的、コンプリメンタリーです。したがって、これらを融合することによって新しい強力な制御理論をつくることができます。

それから、複雑系はほとんどの場合、第1原理から数理モデルをつくることができません。

そこで我々が長年開発してきた、観測した時系列データから数学の埋め込み定理に基づいて対象の数理モデルを構築するという、この手法も駆使して研究を進めています。

サブテーマは3つです。まず、サブテーマ1は井村先生をリーダーとする基礎理論研究です。主な研究成果としては、まずハイブリッドシステム。これはハイブリッドカーのように切りかえが入るシステムで、非常に応用が広いのですけれども、それを対象にして先ほどの力学系理論と制御理論の融合を目指した基礎理論構築及びその生命、医学システムへの応用について、イギリスのロイヤルソサエティーのフィロソフィカルトランザクションの特集号を昨年11月に出版しました。それから、ロバスト制御と分岐理論を融合することによって複雑系の安定性やレジリエンス性に関する基本概念の整備を今進めています。

それから、サブテーマ2は堀尾先生をリーダーとする工学応用研究です。ここでは複雑系情報処理システムや新しい理論に基づくAD/D A変換に関する理論と実装研究を行っています。さらにはホットストリップミルのような産業応用研究、また通信システムや電力ネットワークの数理モデル研究を行っています。

サブテーマ3は基礎と応用の融合です。この研究を通じて前立腺がんの数理モデルに基づくテーラーメイド医療の手法を確立しました。それから、初期の目標であった生命分子ネットワークの本を無事に昨年出版することができました。

各グループで当初の予定どおりの課題をクリアするとともに、後半に向けてこれからテーマの絞り込みを行っていく予定です。

これは各基礎理論と応用研究を分類してみたものですが、理論相互にも色々な相互作用があって、それを融合するような研究課題も今たくさん出てきていて、それらをきちんと体系化する作業を続けています。

それから、予定していた経済データなどの実データ解析も具体的に始めています。

書面レビューの質問事項にありましたので、前立腺がんの話を少しだけさせていただきます。

前立腺がんは日本の男性のがんの中で、患者数や死亡者が現在急増しています。欧米ではもともと深刻ながんですけれども、日本でも近いうちに深刻ながんになると考えられています。我々は町のお医者さんでも実現できる前立腺がんのテーラーメイド治療法を、数学をもとにしてつくりました。

前立腺がんの患者さんは、PSAというバイオマーカーを血液検査で継続的に測ります。これは町のお医者さんでもそのデータは持っておられます。我々の手法はこのPSAの時系列デ

ータをもとにして、その患者さんのがんの数理モデルをテーラーメイドにつくります。そうやってつくった数理モデルをもとにして、その患者さんの治療スケジュールを最適化する。この場合は間欠的内分泌療法という一種のホルモン療法を使うわけですがけれども、この手法をつくりました。これを実証するために、カナダの治験データを解析して、我々の数理モデルによる分類と実際の臨床の結果が非常によく一致することを確認しました。

それから、公開活動にも力を入れておりまして、まず強化事業による公開活動のご支援をいただきまして、幸いにも大震災の直前に国際会議を開くことができました。この国際会議で我々の研究の方向性の妥当性、それから海外の研究者との共同研究などに関して非常に深い議論をすることができました。

それから、お手元にあるリーフレットの発行や岩波書店のホームページで我々の研究課題を紹介しています。さらに、高校とか大学での講義、講演などを通して、数学のおもしろさとか、数学はどのように社会に役に立っているのかとか、そういうことを発信する努力を続けています。以上です。

【川本参事官】

ありがとうございました。それでは、これから質疑応答に移りたいと思います。ここからの進行につきましては、相澤先生の方でよろしくお願いします。

【相澤議員】

進展状況を分かりやすくご説明いただいたので、これから幾つかの点を質問させていただきます。

まず、サブテーマが3つに分かれているわけですね。それで、この3つがどういう位置づけになるのかが理解できるように分かりにくいので、伺わせていただきたいのですが、サブテーマの1で基礎研究をされますよね。これの行き着くところはどういうところに目標を絞っておられるのか。これが1つですね。

それから、2つ目のサブテーマは工学的応用となっていますね。この場合には、今、既に確立されているモデルを具体的な応用に適用すると、こういう位置づけなのかどうか。

それから、3つ目が一体化ですが。統合化というのか、これは基礎と応用の融合と叫ぶときに、サブテーマ1で出てくる成果を見据えて、その基礎研究を取り込んで、工学的研究

というサブテーマ2を束ねるような形で統合化を目指すのか、この位置関係がそれぞれ何となく分かりにくいです。

【説明者】

多分この図が分かり易いと思いますが、井村先生は制御理論の研究者でして、サブテーマ1では主に先ほどの力学系理論と制御理論の融合というところを特にやっています。サブテーマ1はそういうことがメインのテーマです。理論の中でも一番我々が重視している部分ですね、力学系理論と制御理論の融合というのは。

【相澤議員】

ですから、そのサブテーマ1がどこに行き着くことを目標にしているのかということ。

【説明者】

応用としてはお手元の分類表にあるように、いろんなテーマにその結果は応用できるわけです。

【相澤議員】

だから、サブテーマ1としての行き着くところはどうか。

【説明者】

それは力学系理論と制御理論を融合した新しい制御理論をつくることです。例えば、制御のほうでロバストな制御という概念があります。一方で、力学系理論のほうで分岐理論といって、パラメーターが変化したときにその定性的な振る舞いが変わってしまう。その変化を解析する手法があるわけですね。どちらも似たような問題ですけれども、違う方向から同じ問題を見ているのですね。それを融合することによって、どちらの特徴も備えたような新しい、レジリエンス性みたいなものをきちんと数学的に表現する、そういう理論をつくらうとしています。そういう意味で、新しい制御理論を融合によってつくるといのがその目標です。

【相澤議員】

ですから、今ここでちょっとおっしゃった、その理論によって何ができるのかということ
を明確にさせていただくと、位置づけが。何に應用できるじゃなくて、理論としての。

【説明者】

レジリエンスなシステムの数理的な概念というのは非常に大きなテーマになっています。そ
れ以外は主にこの制御理論を使っているいろんな應用、これがサブテーマ2ですけれども、そこ
での應用研究に。

【相澤議員】

それはサブテーマ2 ですね。

【説明者】

そうです。

【相澤議員】

我々大体わかりましたけれども、そこはこれからも重要なことなので、少しお考えいただき
たい。

【説明者】

それから、サブテーマ2 つに関してですけれども、必ずしも既存の理論を単に使うだけでは
なくて、数理工学の研究の仕方というのは、実際の現象とか應用的研究を通じて、そこから理
論のヒントを取り出すという特徴があるので、應用しながら理論をつくるという方向が重要な
んです。そこでグループ1 とグループ2 があったときに、その間をつなぐグループ3 という役
割が必要になってきて、グループ3 によって理論の成果を應用に展開したり、逆に應用研究か
ら吸い上げたものを理論グループのほうにテーマとして受け渡したりという、そういうことを
今やっています。

【相澤議員】

そうすると、サブテーマ2 の應用的それぞれのケースは、これはどういう考え方で設定して

いくのでしょうか。

【説明者】

それは個々のテーマによりますが、これだけでは。

【相澤議員】

設定する考え方だけを言っただけならば。

【説明者】

考えとしては、今一番求められている分野を、複雑系数理モデル学の観点を重視しながら選んで、その中から、例えば通信で次世代通信とか、あとは交通システムとか、今強く求められている課題を考える。例えば震災で電力系統の問題が出てきましたので、複雑系の観点で電力系統の問題を考えると、緊急といいますか、喫緊の問題をピックアップして、複雑系の観点から研究していくと、そういうことです。

【相澤議員】

そうですか。そうすると、これから次々と適用例を増やしていくという、そういう戦略でしょうか。

【説明者】

分野を余り増やしても発散してしまいますので、我々の研究グループの中では、大きく分けますと複雑ネットワークとしてくれるものと、それから複雑系情報処理でくれるものがありまして、その中から今言いましたような重要な課題をピックアップしていく。

例えば、複雑ネットワークの例は、通信系です。震災などの際に弱かったりすると困りますので、そういう観点からも研究しています。それから電力ネットワークや交通ネットワークも同様に重要な対象です。

【相澤議員】

もう一つわかりにくいのは、そうすると適用例をとにかく増やすことがサブテーマ2の目標

になっているのかなんです。

【説明者】

適用例を増やすというよりは、個別なテーマから、それによってできればそこに共通した基盤を築きたいということです。そういう複雑ネットワークの工学としてそういう共通の基盤が出てくるようなテーマを選ぶことが大切だと思っています。1つだけやっても、それは非常に個別なことになってしまいますので、そこを数テーマやって、そこから普遍性を抽出する。

実は先ほど先生が言われましたように、理論の方にフィードバックしたいという目的もありますので、基盤を築けるようなテーマを選ぶとことだと思えます。

【説明者】

例えば、いろんな複雑工学ネットを調べることによって、複雑ネットワークの最適化みたいなものが重要であるという問題が浮上ってきています。そうすると、そのネットワーク最適化というのは数理の問題になるので、その部分はグループ1、グループ3の数学的な分野の人がやることで、個々の応用をやりながら、分野横断的な理論は理論研究者がつくるという、そういう進め方をしています。

【相澤議員】

ですから、そういうようなところであろうなどの理解はできるんですが、このプロジェクトとしての成果というのは、どのようになったら成果なんでしょうか。これは目標ということと同じような位置づけのものなのです。これを伺っていると、ただこの例の応用できた、それでそれが成果だというふうに聞こえます。

【説明者】

そこはこれから後半に向けての非常に重要なポイントだと思います。

まず前半でやりたかったのは、数学の人というのは基本的に1人で論文を書きたがります。かつ書けます。ところが、例えば応用の人と一緒に数学者、数理研究者が研究することによって、そこから色々な新しい問題意識とか、それから違った見方がどんどん出てきているわけですね。それを前半ではいっぱい種を増やそうという方針でやっております、後半に向けてそ

の中から主要なテーマを絞り込んでいって、残り2年半できちんと整理したテーマ設定のもとで成果としてまとめていきたいと考えています。

【相澤議員】

むしろ逆な言い方。

【本庶議員】

同じところですがけれども、結局一つの感じとして、今先生がつくられた理論で解ける問題を選んで、これも解けると言っているように見える。しかし、本当は解けない問題にチャレンジして、この理論の限界がここだからこうしなければいけないという形に出てくると、我々も非常に納得しやすい。

【説明者】

なるほど。

【本庶議員】

例えば、さっきの前立腺がんのこれは余りにも単純な問題ですよ。PSAの上がりということで。しかし、その意義がないと言っていることではなくて、やはりライフサイエンスでいこうとすると、パラメーターの数がものすごく複雑な現象になるとなかなか大変ではないか。私は期待しています。期待しているから、そういうところに非常に難しい。今はすぐ解けないけれども、何か新しいジャンプがないといけないのではないかと内心想っているのです。だから、そういうことが見えてくると我々としては非常になるほどと思います。

【説明者】

おっしゃる意味はすごく分かります。応用研究をやっているのはやはりそういうねらいがあります。応用から見てこういうものが解けないというのは、具体的に応用研究を深く行うことによって初めて出てくるわけです。たとえば、複雑ネットワークにおいては、ネットワークの最適化は非常に難しく、今力を入れて研究中です。

前立腺がんに関しては、本庶先生から見られると単純かもしれませんが、我々実はこ

れ11年間地道に研究してきて、やっと実用に近いところまで来て、泌尿器科のお医者さんにはたいへん評判が良いのです。

手法としては一種のクロノセラピーです。普通の風邪とかおなかを壊したくらいだったら毎食後とかの飲み方でいいのですが、やはり重要な病気というのはその患者さんの状態を見て、いいタイミングで薬を投与するというのは、絶対そのほうがいいに決まっていて、その具体的な成功例を前立腺がんで見つけました。

先生がおっしゃったように、病気によってはもっと複雑な病気であって、モデルとしてはもっと複雑になって。そうすると、非常に少ないサンプルしかないデータからどうやってパラメーターを決めるとか、そういう問題は統計的にもおもしろい問題がたくさんありまして、それも含めて今、基礎研究をやっています。

【奥村議員】

数理工学をいろんな現実的な課題解決に適用しようという試みは、私、大変期待しておりますが、既にご指摘のあったように、やはりこれまでできないことができる可能性があるということを示していただくことが一番大事だろうと思っています。といいますのは、例えばさっきの11ページの応用例ですが、現実的な答えを出そうとすると、例えば、私は、成果3が一番近いのですが、こういう話を、どういうお答えを出そうとされているのか知りませんが、今度はホットストリップミルを最適制御することを目的に仕事をしている人から見ると、先生方の知見は一部です。というのは、最適制御の上では当然コストのこともかかりますし、使うエネルギーのことも考えないといけないわけですから、実際の操業する人から見ると。でも、恐らく先生のところはそういうのは入っていないと思いますし。

だから大事なことは、あるいはその下のCDMAの通信のやり方、提案と書いていますが、実際にはCDMAの通信方式を採用するかどうかというのは、いろんな要素があるわけですね。ですから、何ていいますか、そこの分野の人がまさにパラダイムシフトを感じるような意外性を先生のご研究から提示する。最終的にCDMA、あるいはホットストリップを主としていじる人たちがその知見を活用して結果を出せばいいんであって、今の本庶先生のご指摘と同じですが、答えのありそうなことを何か適用できますみたいな事例をたくさん並べることを、私はこのプロジェクトには期待していない。

だから、先生の分野で一番近い、昔の成功例でいうと、AT&Tがいわゆる電話の配線をどうや

ったら一番合理的に、電話回線をトランスファーできるかというのは、昔、数学で解いた。だから特許になっている。昔ですけどね。ああいうのはやはりみんな、おっと思うわけです。ですから、こういう中でそういう成果を出していただきたいというのが期待です。ですから新しいものを、サムシングニューです。

【説明者】

分かりました。

【青木議員】

だれかがモデルをつくっているのかといつも思うのに、風評被害のモデルってつくれるんですか。

【説明者】

うわさの伝搬や震災の際のツイッターの伝達は、うちのメンバーが研究してしまして、その辺は複雑ネットワークと非常に関連するので、やってみたいと思っています。

【青木議員】

それと、何か内容がどこかで変わってしまうのですね。

【説明者】

そういう状況もあります、はい。

【相澤議員】

そういたしますと、私が初めに質問させていただいた内容が、結局今まで議論の大体集約になるのではないかと思います。結局サブテーマが相互にどういう役割をして連携していくのかということ、それぞれのサブテーマは本当に何を目標としているのだろうか。これ全部みんな関連したことです。

【説明者】

そうですね。

【相澤議員】

それをこれだけもうスタートして地盤が固まってまいりましたから、そういう観点からもう一度これを見直して、それぞれのところにミッションを持たせて、本当にこれは初めての画期的なことだという、このモデルだからこそというものを是非、つくり上げていただきたいと思っています。

【説明者】

分かりました。

【川本参事官】

ありがとうございました。それでは、これでヒアリングを終了させていただきます。

—了—